



土木研究所資料

第882号

ブルドーザの操作性に関する研究 (第3報)

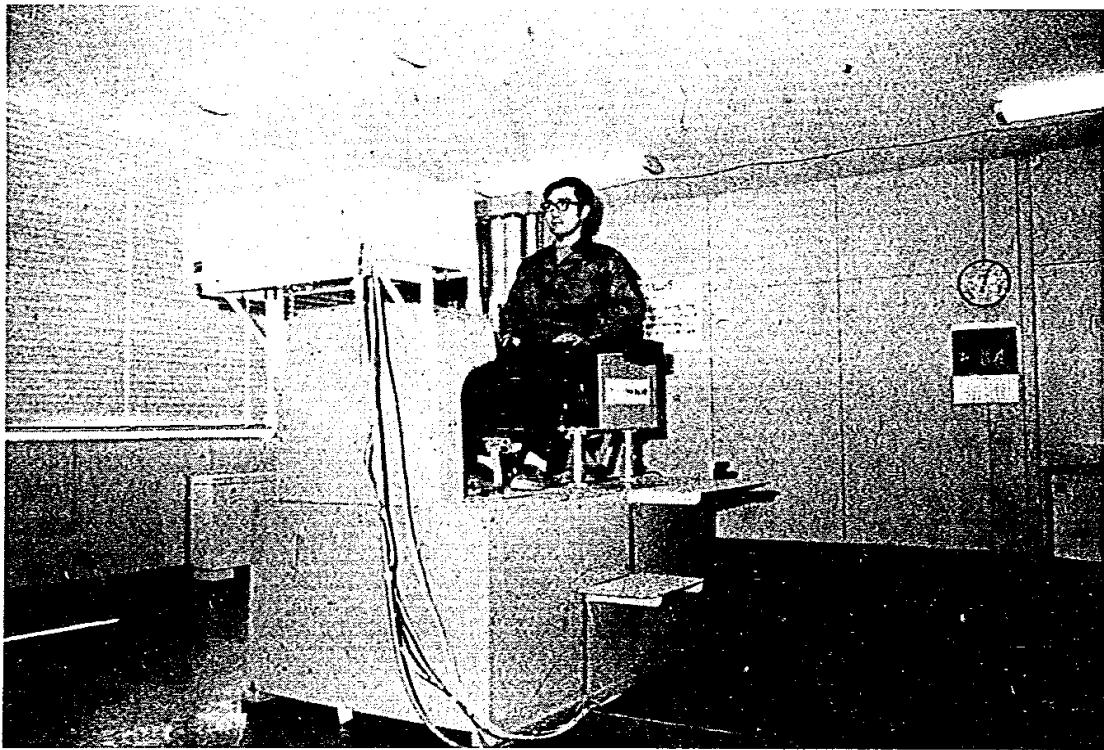
—騒音が建設機械の操作性へ及ぼす影響—

昭和48年11月

建設省土木研究所

要 旨

建設機械（主としてブルドーザ）の操作性，居住性を改善する目的の一環として，ブルドーザの運転席における環境条件（騒音）下における操作性の低下及び騒音の忍限度を見出すため，ブルドーザ操作追従装置に騒音再生装置を附加し，各種レベルの騒音下におけるオペレータの操作能力の低下を，シュミレート実験を行なうことにより測定した。操作性として客観的に現われる各種インデックス，及び疲労部分，アンケート調査による主観的評価を考察したところ，一般に騒音レベルの増加に伴ない操作性の悪化が認められるが，特に主観評価に関しては80ホンを越えると極端にその傾向があらわれる。又主観客観評価を総合した評価も80～85ホんで同様な傾向が表われることが判明した。



写真一 1 操作性の実験全景

ブルドーザの操作性に関する研究 (第3報)

—騒音が建設機械の操作性へ及ぼす影響—

機 械 研 究 室

田 中 康 之

岡 崎 治 義

池 田 勇

目 次

1. ま え が き	1
2. 研 究 目 的	1
3. 実 験 方 法	2
3-1 実験概要	2
3-2 操作性実験室	2
3-3 実験装置	2
3-3-1 ブルドーザ実物大運転台模型	2
3-3-2 操作性追従装置	2
3-3-3 騒音の集録	4
3-3-4 騒音の発生	4
3-4 実験条件	6
3-4-1 操作力	6
3-4-2 操音レベル	6
3-4-3 実験回数	7
3-4-4 実験順序	7
3-5 計測事項	8
3-5-1 計測事項(用語)の説明	8
3-5-2 計測装置及び記録	10
4. 解 析 方 法	12
5. 実験結果及び考察	13
5-1 停止誤差量	13
5-2 知覚反応時間	15
5-3 操作未了回数	17
5-4 誤操作回数	18
5-5 単純反応時間	20
6. 操作性と客観的評価	21
7. 操作性と主観的評価	22
8. 操作性の総合評価	25
9. ま と め	25
10. あ と が き	26
11. 参 考 文 献	27

1. ま え が き

この10年間、土木工事や建築工事などでは、機械化施工が急速に進められ、大量の建設機械が用いられるようになってきた。これらの建設機械は高性能化を急ぐあまり居住性や操作性が犠牲にされたきらいがあり、自動車などと比較すると、それらはかなり劣悪といわれている。一方工事量の増加に伴ないオペレータの不足が深刻化しており、その対策の一つとして未熟練のオペレータでも容易にしかも安全に操作できる居住性や操作性の良い建設機械が要望されている。機械研究室では、それらの改善の一環として操作力の大きさを人間工学的な見地から究明すべく昭和44年度まで文献による調査や予備的な実験を行ない、45年度から実験を実施した。45年度は¹⁾ フットペダルの適正操作力。を求める実験を、続いて46年度には²⁾ 操向クラッチレバーの適正操作力。を求める実験を行い、その結果各々の適正值は12.5 kg、6 kg であることが解明された。さらに47年度は建設機械の騒音がオペレータの操作性に及ぼす影響を検討するため、模擬運転装置を使って室内実験を行なった。この報告書はこれら結果をとりまとめたものである。

2. 研 究 目 的

建設機械の作業中における運転席での騒音は、相当に強烈で、建設機械化研究所の性能試験報告書によれば図-1に示すような結果が報告されている。この様に建設機械の騒音がオペレータ自身および作業能率にかなり影響を与えているものと思われるが、これらに関する騒音について操作性

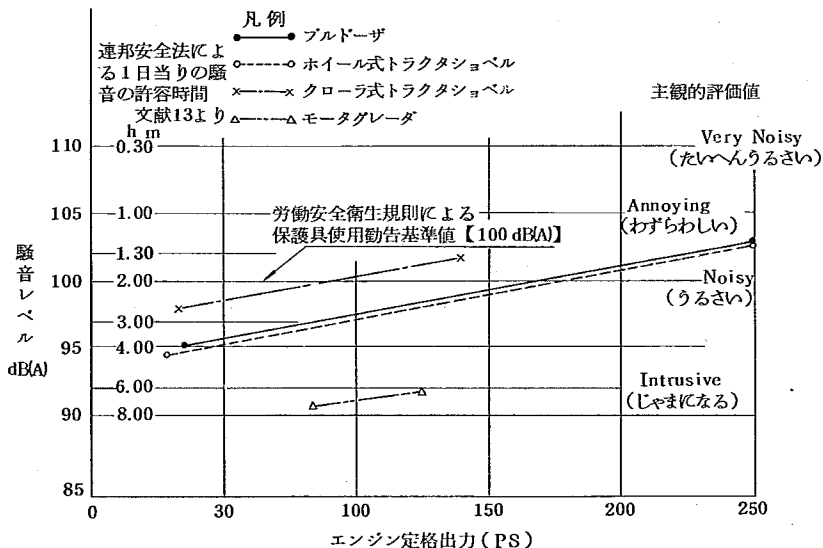


図-1 建設機械の作業中におけるオペレータ席での騒音

の面からオペレータの環境基準値を求めようとするものである。

3. 実験方法

3-1 実験概要

実験は先づ騒音の操作性への影響を調査するための実験方法の検討を行なったのち、次の各項目について調査した。

- (1) 騒音とオペレータの生体的な負荷度との関係
- (2) 騒音にさらされる時間経過と操作性との関係
- (3) 騒音環境下での客観的な操作性の評価
- (4) 騒音環境下でオペレータの主観的な操作性の評価

以上の項目を総合的に判断し騒音がオペレータに及ぼす影響のうち、オペレータが機械操作する能力に対する影響を検討した。

実験手順としては、屋外で実験の騒音を集録しそれをシミュレータ実験室で再生して騒音環境を作り、ブルドーザ実物大運転台模型、操作性追従装置等を用い3名のオペレータについて操作性の実験を行なった。以下その概要を記す。

3-2 操作性実験室

操作性実験室は、実験室と測定室に分かれ、各々の平面積は、約70平米及び12平米で十分な照明と冷暖房設備を有している。また実験室と測定室の間は、透明ガラスによって遮断され、実験中のオペレータの挙動は測定室から直接観察できる仕組みとなっているほか、オペレータが外部からの雑音や人通りなどの環境に左右されることのない様、実験室窓側はブラインドを有し、実験中は部外者の実験室内への出入りを断っている。このほか、実験室と測定室との間は、床下ダクトを通じてケーブルで結ぶ構造となっている。図-2はこれらの平面的な配置を示したもので、あわせて測定計器類の配置をも示す。

3-3 実験装置

3-3-1 ブルドーザ実物大運転台模型

本模型は15トン級のブルドーザ運転台を模擬して製作したもので、主な装備としては、操向クラッチレバー、フットブレーキペダル、並びにオペレータ座席である。操向クラッチレバーとフットブレーキペダルの引張力及び踏込力は、バネ定数の異なるスプリングを交換装着しアジャスターを締め付けることによって任意に変えられる。またフットブレーキペダルとオペレータ座席はオペレータの体位に応じて、前後及び上下にスライド設定可能である。図-3に運転台模型を示す。

3-3-2 操作性追従装置

実験に用いた装置は、ブルドーザ実物大運転台模型の前面に取付けたもので、目標指示器と指標移動機構とから構成されている。目標指示器は予め設定された多整定継電器によって追従パネルに組み込まれた

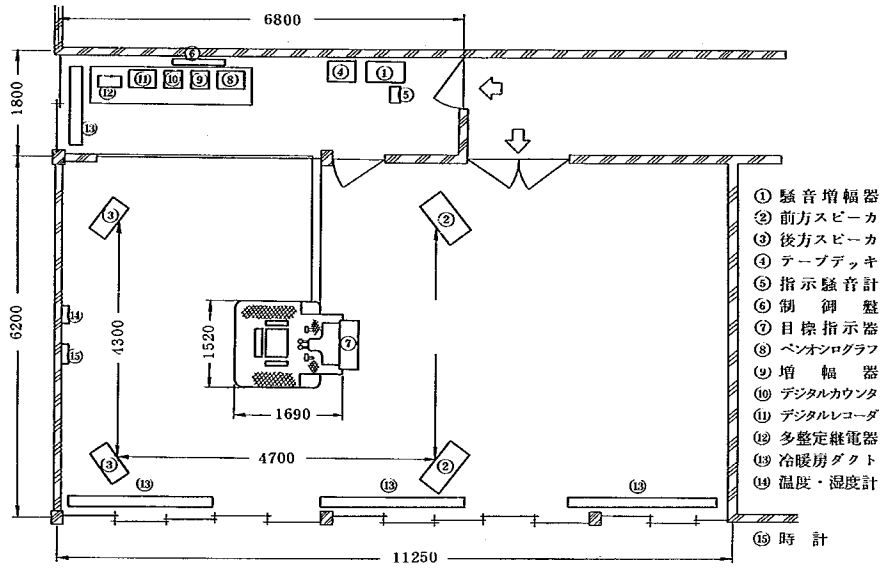


図-2 実験室内の平面配置

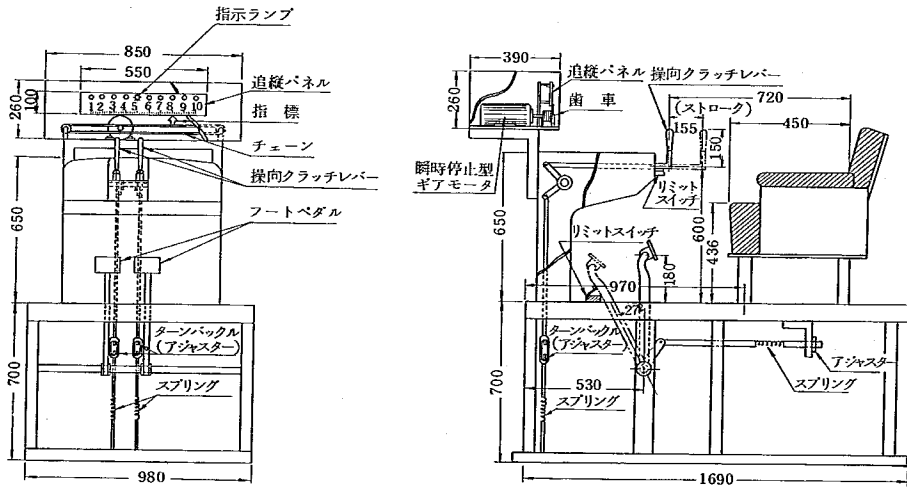


図-3 ブルドーザ実物大運転台模型

No.1からNo. 10までの合計10ケのランプを一つづつ順次ランダムに30回/4分の割合で点滅する。オペレータはこのランプ点灯位置に指標を移動させて合わせる操作をする訳である。指標移動機構はオペレータが操向クラッチレバーを引張ると実機において丁度、操向クラッチのみを切った状態に相当し、追従装置の指標はゆっくり(4cm/sec)目標指示位置に向って移動する。さらにこの状態でフットブレーキペダルを踏み込むと、実機において丁度、操向クラッチを切ると同時に走行ブレーキを掛けた状態に相当して指標は、より早い移動速度

(11cm/sec)で目標指示位置に向って移動する。これらを元に戻すと瞬時ブレーキが働いて指標は停止する。右手、右足では指標は右方へ、左手左足では左方へと移動する。また操向クラッチレバーを操作しないで、先にフットブレーキペダルを操作した状態になると、シュミレータの機能が一時停止しエラーランプが点灯するとともに、ある一定時間経過しないと、正常復帰しない機構を持っている。

これは実機においてオペレータ

が操向クラッチを切らないで走行ブレーキを踏み込んだ状態に相当し、操作としては間違った操作となるからである。従ってオペレータに注意をうながす役目も備えている訳である。図-4はこれらのシュミレート回路を示したものである。なお追従装置については、土木研究所資料第697号を参照されたい。

3-3-3 騒音の集録

建設機械の騒音は、機種或いは機関能力などにより騒音の周波数や騒音レベルはまちまちであるが、当実験においては、ブルドーザ(三菱BF)騒音を集録した。

○マイクロホンとテープデッキ

人間の聴覚は音源の方向や音源位置などをかなり鋭敏にキャッチするといわれている。従って騒音を集録する際、実機の騒音に少しでも近似する様に次の様な配慮を行った。即ちマイクロホンは、オペレータの耳の高さに耳元から等間隔に前後、左右合計4個を枠組みして配置し、ブルドーザ(三菱BF)の走行音をエンドレステープを用いた4チャンネルテープレコーダで集録した。表-1に騒音集録時の状況を示す。

3-3-4 騒音の再生

シュミレータ実験室内に設置した模擬運転装置の廻わりに4個のスピーカを配置し、これを通してオペレータを騒音環境下に置く方法をとった。オペレータに伝えられる騒音レベルは、その耳元

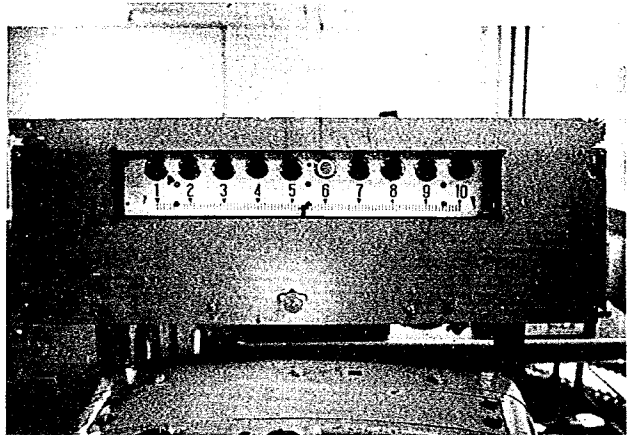


写真-2 目標指示器

位置に設置した指示騒音計を見ながら増幅度を調整することにより0～100ホン迄任意に設定できる仕組みとなっている。なお再生に用いた機器は表-2に示すとおりである。

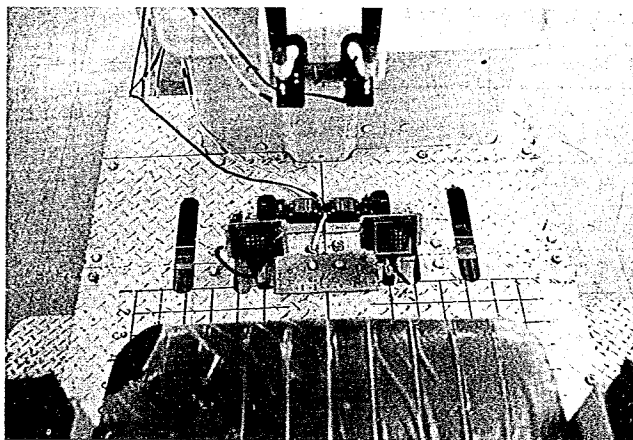


写真-3 操向クラッチ及び操向ブレーキ部のシュミレータ

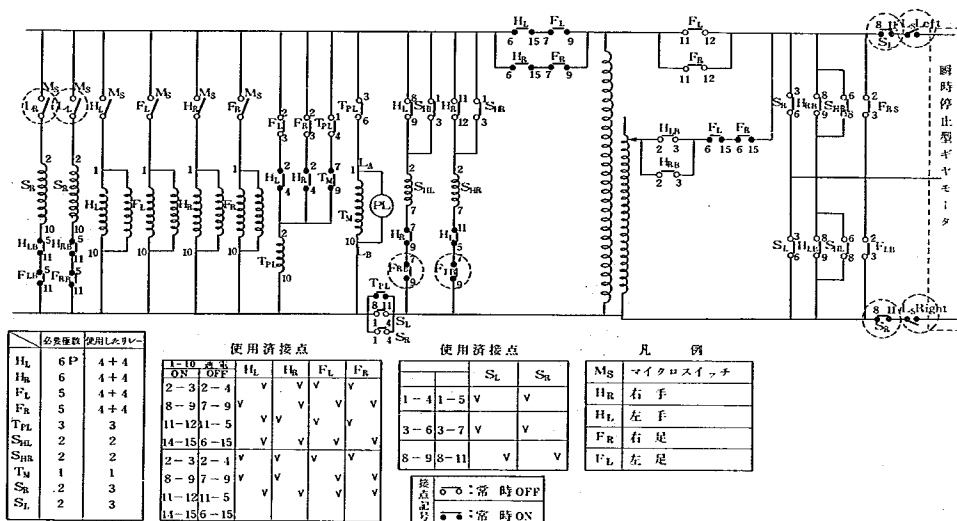


図-4 ブルドーザ運転シュミレート回路

表-1 騒音集録時の状況

録音機種	ブルドーザ 三菱BF
走行速度	前進第1速 2.4 km/h
走行路面状態	コンクリート舗装面
集録マイクロホン	ソニー F-96型 70~14000 Hz
テープレコーダ	ソニー TC-6040 30~23000 Hz
使用テープ	エンドレステープ

表-2 騒音再生に使用した機器

機器名	規格及び概略仕様
指示騒音計	リオン NA-07A
騒音再生装置	パイオニア 4点式出力 36W
テープレコーダ	ソニー TC-6040 30~23000 Hz

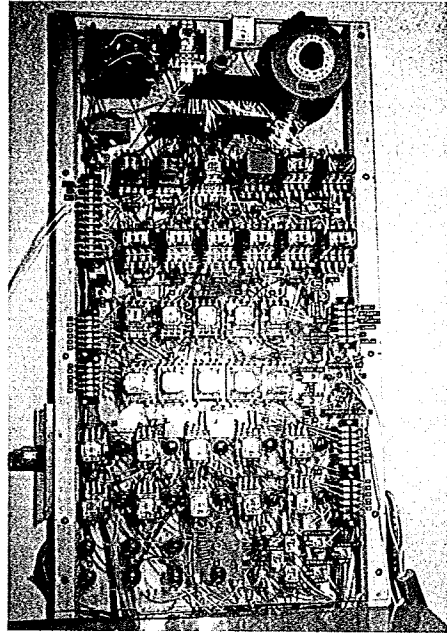


写真-4 シュミレイト回路を納めた制御盤

3-4 実験条件

実験に際しては、次に示す条件の下で行なった。

3-4-1 操作力

前回の実験で図-5、図-6に示すようにフットペダルについては、¹⁾ 12.5 kg、操向クラッチレバーについては ²⁾ 6 kg の適正値を得ているのでこれらの値に設定し実験を行なった。なおこれらの設定力検定は、バネ計り及び踏力計で行なった。

3-4-2 騒音レベル

人間の耳は永続する影響なしに極めて強い音に耐えられるのはわずか数秒間でしかなく、例えば 130 dB で 10 秒間とさえいわれている。³⁾ また 85~95 dB、またはそれ以上の強さに長くさらされると耳は損傷

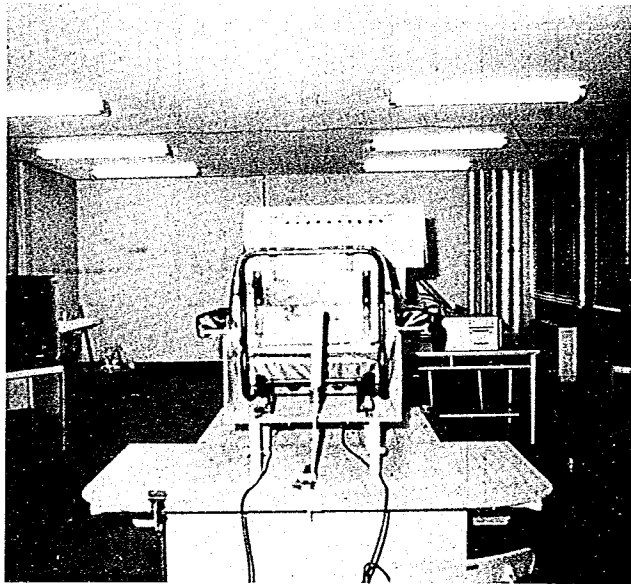


写真-5 運転装置の廻りに配置されたスピーカ

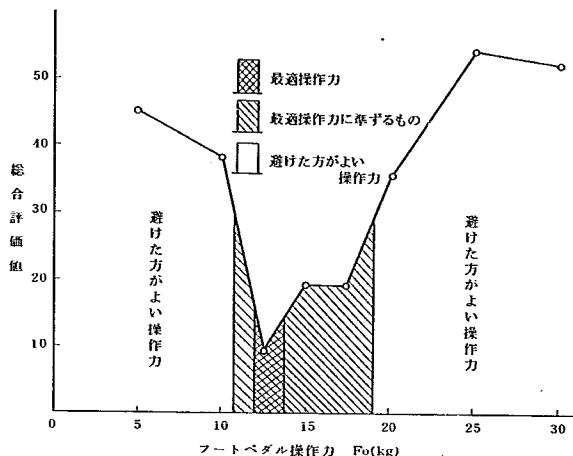


図-5 フートペダル操作力と総合評価値

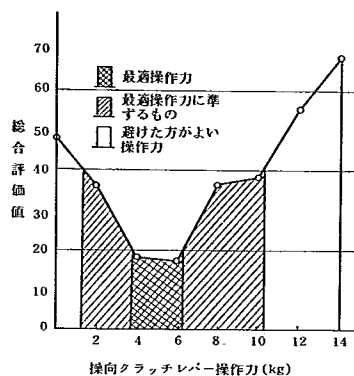


図-6 操向クラッチレバー操作力と総合評価値

を受け聴力に影響を受けるといわれ、図-7に示す様な騒音暴露限界も報告されている³⁾。この実験では、このような点がかんがみ次の7レベル暗騒音(40 dB(A), 70, 80, 85, 90, 95, 100 dB(A)の騒音について、1条件当り1時間暴露するという条件で実施するとともに騒音レベルの設定はオペレータ耳元に設置した指示騒音計によって行なった。

3-4-3 実験回数

オペレータは3人とも7条件の騒音レベルを各オペレータにくじ引きさせ、これによって表-3のとおり実験を割りつけデータの片寄り防止に留意した。

実験の回数は1日当り午前1回、午後1回の割合いで延べ21時間実施しオペレータの極端な疲労を避けると共に、騒音に対する耳慣れの影響がない様につとめた。

3-4-4 実験順序

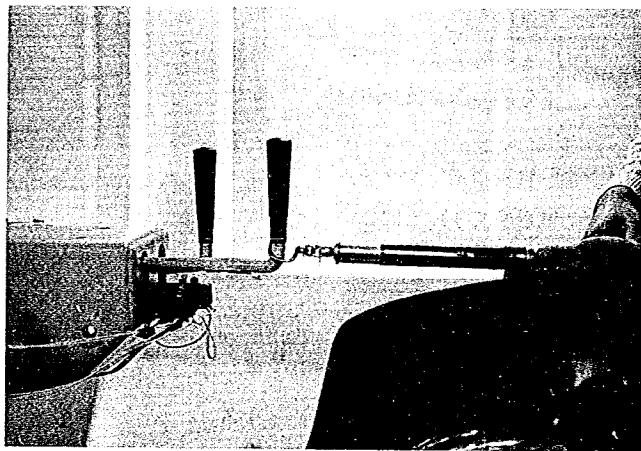


写真-6 クラッチレバー操作力(最適操作力)の設定

写真-6 クラッチレバー操作力(最適操作力)の設定

下記の順序で実験を行なった。

- 1) オペレータの体位に応じて運転席の高さ、前後位置関係を好みの状態に調節する。

- 2) 騒音レベルを所定の大きさに設定する。

- 3) オペレータを模擬運転台に塔乗させ安静状態において1分間の脈拍数を測定する。

- 4) 目標指示ランプを点滅させ、右手、左手の順に10回づつ20回の単純反応時間を測定する。

- 5) オペレータを騒音環境下に暴露して1時間のブルドーザ模擬運転を行なう。

- 6) 実験終了後、直ちに1分間の脈拍数を測定する。

- 7) 目標指示ランプを点滅させて4)と同様に実験後の単純反応時間を測定する。

- 8) 操作性の難易度を5点法によって採点する。

- 9) 疲労個所及び自覚的症状をアンケート用紙に記入する。

以上で1条件当りの実験を終了する。

表-3 各オペレータの実験順序

騒音レベル ホン(A) オペレータ	暗騒音	70	80	85	90	95	100
A	1	4	5	7	2	3	6
B	7	3	1	6	2	5	4
C	6	2	4	5	3	7	1

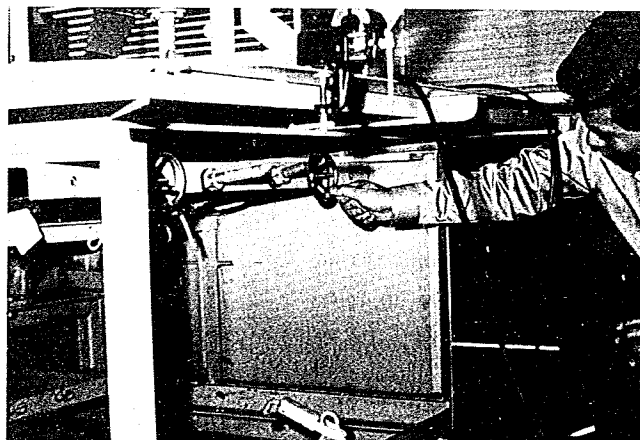


写真-7 フートペダル操作力(最適操作力)の設定

3-5 計測事項

3-5-1 計測事項(用語)の説明

- (1) 単純反応時間：単純反応時間は測定者がオペレータの前面のデジタルカウンタのスタートスイッチを押すとデジタルカウンタのランプが点灯し、オペレータがそれを確認した後、直ちに

手元のストップスイッチを押す迄の時間で、この時間はm 秒単位で表示されデジタルレコーダに印字記録される。これを実験直前、直後の2回、左右両手についてそれぞれ10回づつ測定した。

(2) 停止誤差量：停止誤差量は目標指示位置から指標がどの程度ずれて停止したかを示す量で、ずれ量を電氣的に検出しペン書きオシログラフで記録する。

(3) 知覚反応時間：知覚反応時間は多整定継電器により指示ランプの一つが点灯してからオペレータが操向クラッチレバーを引張り始める迄の時間で、これを電子カウンタによりm 秒単位で測定しデジタルレコーダで連続記録される。

(4) 誤操作回数：1 回の実験中で3-2-2に述べたエラーランプが点灯した回数の合計である。

(5) 操作未了回数：目標指示ランプが点灯しているうちに指標の移動を完了しなかった場合、又は40mm 以上離れた場合をいい、ペン書きオシログラフに記録される。

(6) 操作性主観評価：各実験条件下で実験を行なった後、オペレータの主観によって

各騒音レベルの影響を5点法によって評価したもので、その評価尺度は、

1：影響がない。2：殆んど影響がない。3：多少影響する。4：かなり悪い影響がある。
5：非常に悪い影響がある。

(7) 疲労箇所：頭部、眼部、肩部、背部、腰部、腕部、脚部、首部、特になし、の9項目に分け

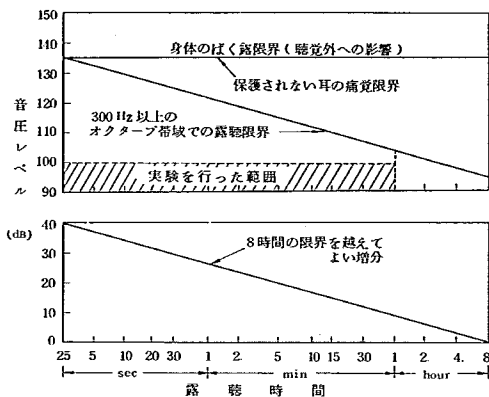


図-7 露聴時間と音圧レベル

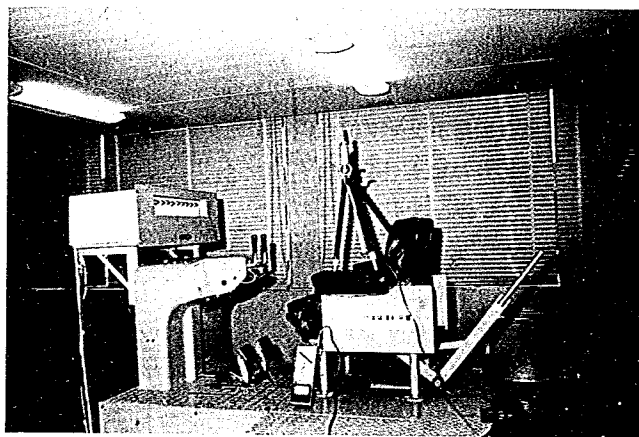


写真-8 騒音レベルの設定

実験終了後アンケート用紙にオペレータに記録させた。この時、疲労部が多岐にわたる場合は、大きい順に記録するものとした。

- (8) 自覚症状：全身がだるい、いらいらする。手足がふるえる、頭がぼんやりする、気分が悪い、頭が痛い、耳なりがする、特になし、の合計8項目に分け(7)と同様な方法で調査した。

3-5-2 計測装置及び記録

- (1) 停止誤差量：停止誤差量を連続的に検出する為のピックアップ（回転式ポテンシオメータ）は図-8の様に取付けポテンシオメータと図-9に示すリレー回路によって計測回路を構成し、多整定継電器によって点灯されるランプ位置に応じた回路が働き停止誤差量を電気的に変換してペン書きオシログラフに記録される。

- (2) 知覚反応時間：多整定継電器が働くとリレー回路が働きデジタルカウンタが計時を始める。一方オペレータは目標指示ランプ位置に指標を合わせるべく操向クラッチレバーを引く。この時デジタルカウンタの計時をストップさせるスイッチが働くと同時にデジタルレコーダに印字される仕組みである。

- (3) 誤操作回数：図-4のシュミレート回路において、3-3-2で述べたエラー操作が行なわれると、継電機 T_{pL} が励磁される。このことを利用して図-11の様な装置で測定した。

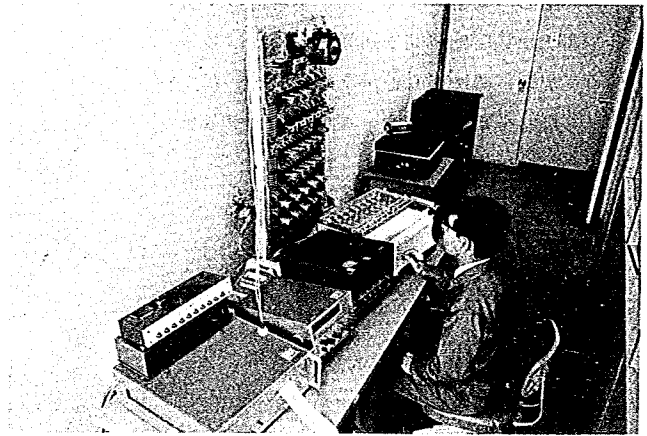


写真-9 計測室全景

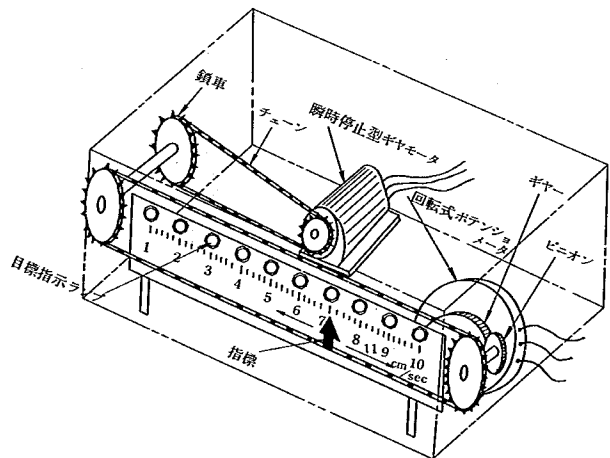


図-8 停止誤差ピックアップ取付図

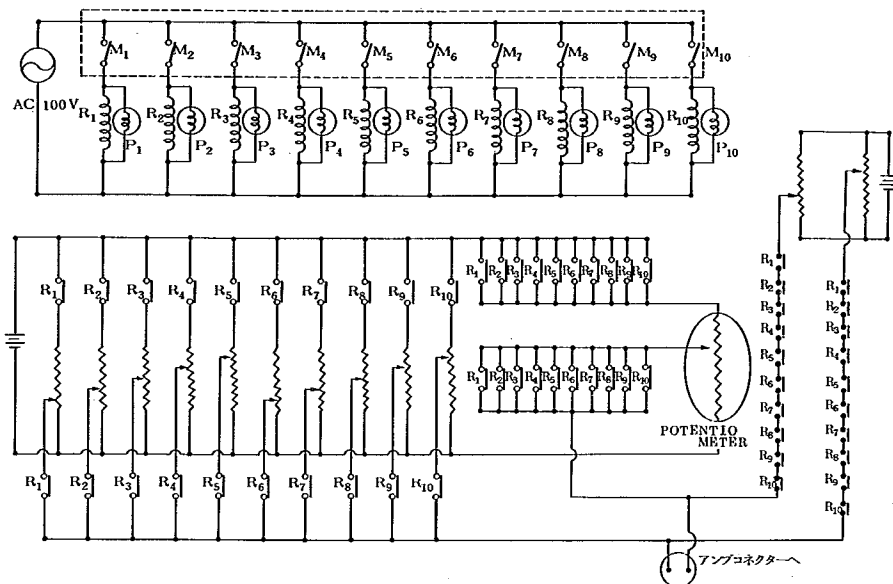


図-9 停止誤差計測回路

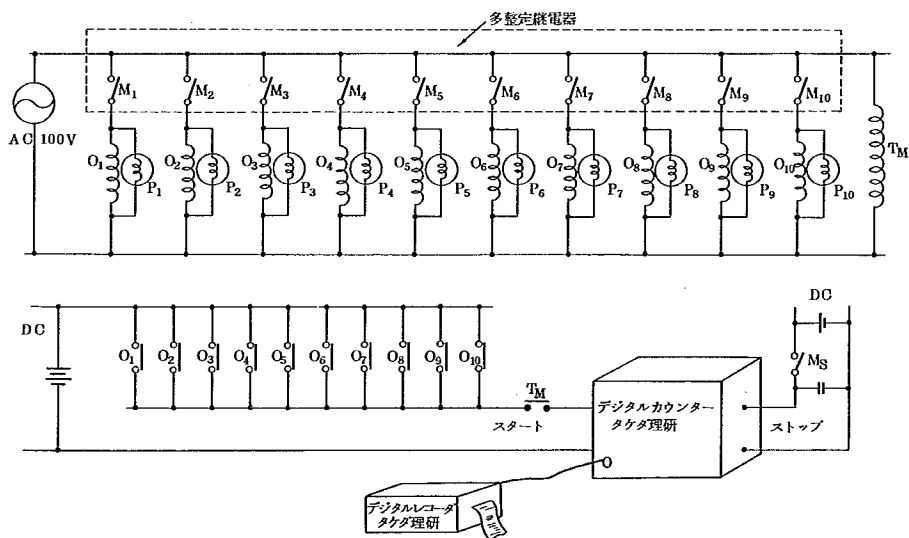


図-10 知覚反応時間計測回路

44
45

4. 解析方法

-12-

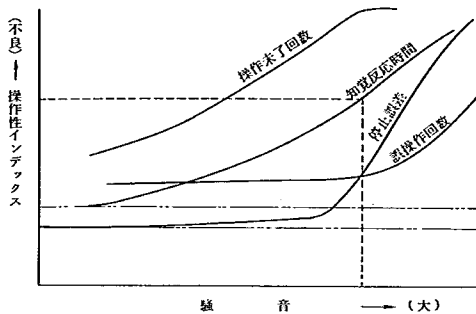


図-13 騒音レベルと操作性インデックス

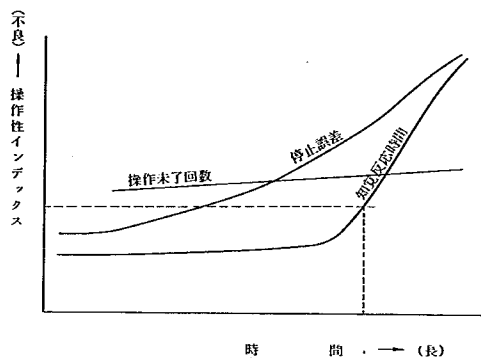


図-14 露聴時間経過と操作性インデックス

図-13、図-14に示すような各インデックスで悪化傾向の表われ始める変曲点があるものと推定される。これらの操作性に関する各インデックスを定量的に解析し、変曲点を見出してこれを理想的な限度レベルと考えた。すなわち

1. 停止誤差量（運転ミス）の少ないもの
2. 知覚反応時間（反応）の速いもの
3. 操作未了回数の少ないもの
4. 誤操作回数（操作手順のミス）の少ないもの
5. 疲労の少ないもの

を良好と考え、これらのインデックスを総合的に判断し急激に操作性が悪化すると認められる騒音レベル及び急に操作性が悪くなり始めるまでの時間が騒音レベルの大きさにより極端に変化する騒音レベルをもって騒音限度レベルを推定した。

5. 実験結果及び考察

実験の結果、表-4に示す結果が得られた。この表は各騒音レベルに対する結果であり、一方、騒音露聴時間に対する結果は別に示すとおりである。

5-1 停止誤差量

図-15は被験者3人の停止誤差平均値と騒音レベルの関係をプロットしたものである。両者の関係を求めると、相関係数 $r = 0.6715$ で危険率10%で有意水準に達しており、騒音レベルの増加と共に停止誤差量も増加している。この場合、暗騒音は40ホン(A)（実測値）とした。両者の関係を直線と見做すと、その回帰方程式は

$$Y = 0.0085X + 2.23 \quad \text{..... (1)}$$

ここに X：騒音レベル（ホン(A)）

Y : 停止誤差量 (mm)

が得られた。この(1)式で、今仮に騒音レベルが10ホン増したことによって起こる停止誤差量の増加は、0.1mm程度すなわち停止誤差量の平均値2.8mmに対する値は3.6%で、騒音による停止誤差量の増加は比較的少ない。一方、図-16はオペレータが騒音にさらされる環境の下で作業し

表-4 測定結果(平均値)

操作性 インデックス	騒音レベル (ホン(A)) オペレータ	暗騒音	70	80	85	90	95	100
停止誤差量 (mm)	A	2.9	2.1	2.7	3.0	—	3.3	—
	B	—	3.0	3.5	2.7	3.2	2.7	2.9
	C	2.2	3.2	2.5	3.1	3.1	2.1	3.6
	平均	2.55	2.77	2.90	2.93	3.15	2.70	3.25
知覚反応時間 (m sec)	A	360.9	305.5	331.1	324.6	—	343.6	—
	B	—	310.1	335.3	332.9	363.0	334.2	323.4
	C	298.7	315.8	305.0	312.2	314.5	287.6	342.1
	平均	329.8	310.5	323.8	324.6	338.8	321.8	332.8
操作未了回数 (回/hour)	A	25	30	28	47	—	48	—
	B	—	14	13	35	12	10	13
	C	37	35	39	26	41	24	46
	平均	31.0	26.3	26.7	36.0	26.5	27.3	29.5
誤操作回数 (回/hour)	A	5	2	0	3	—	6	—
	B	—	0	1	3	0	1	1
	C	0	1	0	0	0	0	0
	平均	1.7	1.0	0.3	2.0	0	2.3	0.5
単純反応時間比	A	1.23	1.21	1.29	1.15	—	1.24	—
	B	—	1.04	1.04	0.94	1.28	1.16	1.10
	C	0.99	1.09	1.08	1.02	1.38	1.08	1.24
	平均	1.11	1.11	1.14	1.04	1.33	1.16	1.17

た場合、時間の経過と停止誤差量とがどのような傾向にあるかを見たものである。3人のオペレータとも運転時間の経過と停止誤差量の間には、データのバラツキが大きく、ここでは各レベル毎に3人の停止誤差量の平均値をとったが、ちなみに運転時間と停止誤差量との関係に一次の相関があるものとみなし相関係数と回帰方程式を求めて見ると表-5のとおりである。これらの相関係数の有意性の検定を行なうと危険率5%の場合、

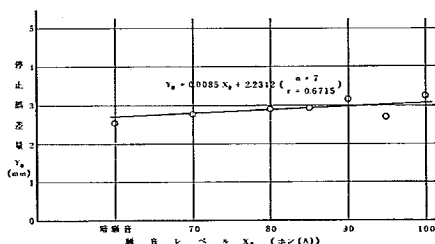


図-15 停止誤差量と騒音レベル

$$r(43, .05) = 0.2955$$

であり、これを表-5の値と比較すればオペレータBのみ一部高度に有意との結果が見られる。しかしこれを各オペレータごとに、また各騒音レベル別に全体的にながめた場合、オペレータBの場合だけが負の相関となり、オペレータAやCとは全く逆の傾向にある。またBだけの相関係数が高くて、AとCについては低い。更に各騒音レベルごとの相関係数もバラツキが大きい。このようなことから、この実験では停止誤差量は、1時間の範囲内、しかも70～100ホンの騒音露聴レベル内では、慣れや反応に個人差が見られ一般的な傾向は得られなかった。

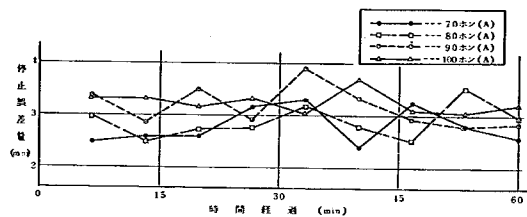


図-16 時間経過と停止誤差量

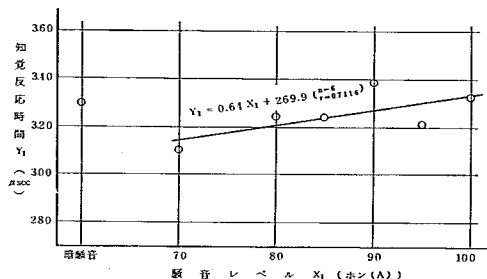


図-17 知覚反応時間と騒音レベル

5-2 知覚反応時間

図-17は騒音レベルと知覚反応時間の関係を示したものである。暗騒音

時の値は比較的悪く予想外であった。暗騒音を除いて70～100ホンまでの傾向を直線式と見なしてその相関を調べると $r = 0.7116$ で危険率10% α 有意水準を下まわり相関度はやや低い。回帰方程式を作ると

$$Y_1 = 0.64 X_1 + 269.9 \quad \dots\dots\dots (2)$$

表-5 時間経過と停止誤差量の回帰値一覧

騒音レベル (ホン(A)) オペレータ	相 関 係 数 r			勾 配 a_1			定 数 a_0		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
暗 騒 音	0.075	—	0.087	0.005	—	0.009	2,816	—	2,009
70	0.260	-0.308	0.212	0.013	0.019	0.026	1,823	3,419	2,649
80	0.026	0.077	0.221	0.002	0.007	0.017	2,610	3,318	2,061
85	0.245	-0.284	0.306	0.019	-0.020	0.041	2,559	3,227	2,227
90	—	-0.376	0.097	—	-0.026	0.012	—	3,797	2,876
95	0.003	-0.202	0.114	-0.0004	-0.013	0.008	3,295	3,008	1,915
100	—	-0.312	0.126	—	-0.018	0.013	—	3,309	3,323

但し $Y = a_1 X + a_0$ における値 Y : 停止誤差量 X : 時間経過

ここで Y_1 : 知覚反応時間 (ms)

X_1 : 騒音レベル (ホン(A))

となる。(2)式より知覚反応時間は、暗騒音の場合を除いて騒音レベルの増加に対してやや増加している傾向が表われている。仮りに10ホンの騒音レベル増加に対し知覚反応時間のおくれば6m秒程度が見込まれる。

表-6 時間経過と知覚反応時間

注: 単位m秒

時間経過 (min) 騒音 レベル (ホン(A))	0~4	4~8	8~12	12~ 16	16~ 20	20~ 24	24~ 28	28~ 32	32~ 36	36~ 40	40~ 44	44~ 48	48~ 52	52~ 56	56~ 60
暗 騒 音	346.1	337.8	325.1	330.2	318.5	310.8	339.5	319.2	318.7	326.6	342.1	331.2	324.2	336.7	344.0
7 0	293.8	304.8	298.1	306.1	317.0	312.7	320.8	301.7	309.5	300.1	305.1	327.8	312.4	322.5	325.5
8 0	310.8	315.0	340.0	330.4	333.3	309.8	315.4	317.9	314.3	319.0	318.3	320.0	333.8	331.4	347.7
8 5	312.4	314.5	319.0	304.8	318.0	327.8	333.2	325.0	332.0	333.9	326.1	333.7	331.1	330.2	329.0
9 0	308.5	329.7	342.7	351.2	348.5	343.7	326.1	357.9	344.4	330.1	342.7	334.5	334.5	340.4	347.1
9 5	304.2	309.0	308.5	322.0	322.9	318.9	337.3	334.1	327.6	334.4	316.9	321.1	322.4	326.4	321.5
1 0 0	312.8	318.9	323.5	371.8	336.0	324.7	324.4	320.9	339.0	338.2	332.6	327.5	334.1	348.5	338.1

表-6 及び図-18は時間経過による知覚反応時間の変化を示したもので、全般的には各レベルともやや右寄り、即ち時間経過に対して知覚反応時間が長くなる傾向が見られる。相関係数の有意性検定を行なうと、危険率5%の場合では、わずか70ホンと85ホンの場合のみ有意で他は棄却

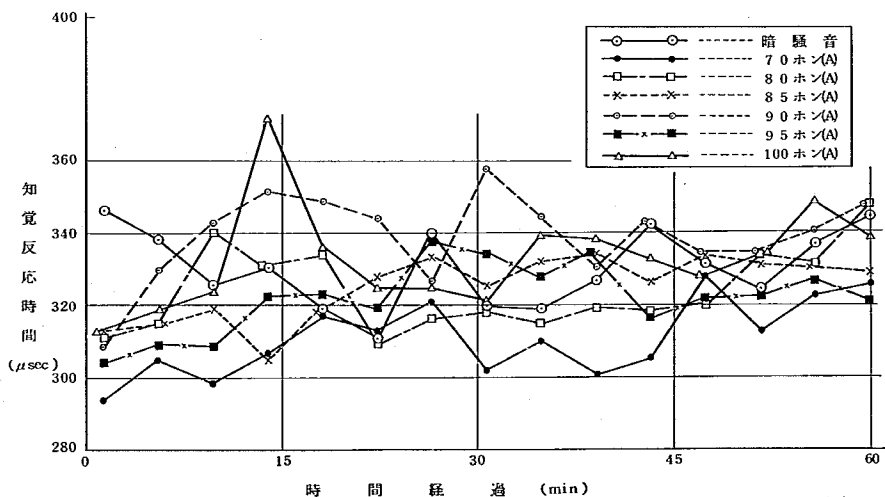


図-18 時間経過と知覚反応時間

される結果となる。また実験前と1時間経過後の知覚反応時間のおくれを計算すると、図-19に示すように70ホンで22.2m秒位、80~100ホンでは13.7~14m秒程度のおくれが出てくることが判明し、1時間の操作によって作業前後の知覚反応時間に差が生じてくる。またこの傾向は、騒音レベル85ホンの方が90~100ホンに対して顕著になっていることも分る。したがってこの知覚反応時間のおくれは騒音レベルの大小には関係なく、1時間の操作による疲労が影響してきたものと考えられる。

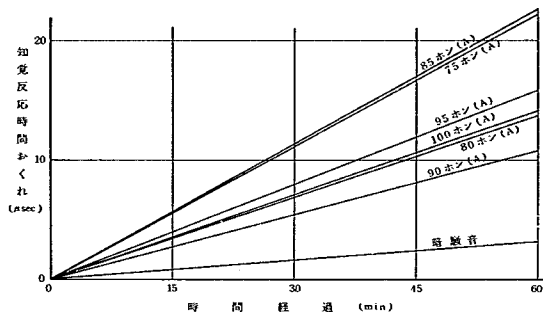


図-19 時間経過と知覚反応おくれ

5-3 操作未了回数

図-20は各騒音レベルに対して操作未了回数がどのような関係にあるかを見たものである。いま極端な騒音環境下を想定した場合、即ち暗騒音と100ホンの場合を例に取ると、オペレータに対しては一般的に前者の方がより操作しやすい環境下よりも暗騒音環境下の場合の方が高い値にある。また暗騒音を除いて考えた場合には概して右上りの傾向にあるが、85ホン(A)で最も多くの操作未了回数を

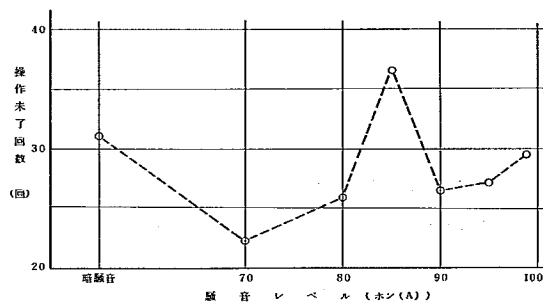


図-20 騒音レベルと操作未了回数

表-7 時間経過と操作未了回数の関係

騒音レベル (ホン(A)) \ 時間経過 (min)	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~28	28~32	32~36	36~40	40~44	44~48	48~52	52~56	56~60
暗騒音	0.50	1.50	2.50	3.50	5.50	7.00	10.00	11.00	14.00	19.50	22.00	22.00	24.00	27.50	31.00
70	1.33	2.33	2.99	3.32	4.65	5.98	7.64	8.64	10.94	12.27	15.27	17.27	18.60	20.60	22.26
80	1.00	2.33	3.33	4.66	6.32	7.65	8.65	9.98	12.98	14.64	15.30	18.96	21.62	23.62	25.92
85	1.33	2.66	4.99	7.32	10.32	13.32	15.98	18.64	22.30	24.96	25.96	30.56	32.89	34.22	36.55
90	1.00	2.00	3.50	4.50	6.50	8.00	9.00	12.00	15.00	16.00	18.00	19.00	22.00	23.50	26.50
95	0.33	1.33	3.33	4.66	5.66	8.26	10.26	11.92	13.92	15.58	19.58	21.58	21.91	24.57	27.23
100	0.00	1.50	3.50	7.00	8.50	11.00	13.50	14.00	16.00	17.00	19.00	21.00	24.00	28.50	29.50

記録している。この様にピーク値が暗騒音の場合と85ホン(A)の場合との2ヶ所にあることなどから操作未了回数は別な要素に左右されるものと推定される。

次に各々の騒音レベルに於いて、時間の経過と操作未了回数の関係を調べたところ表-7及び図-21に示すとおりであった。これによれば累積操作未了回数は1時間の操作時間経過に対して、ほぼ直線的に増加またわずかではあるが、時間経過に対して操作未了回数が増加している傾向が見られる。その相関を見ると表-8のとおりで各騒音レベルとも相関はかなりあり、それぞれ危険率5%の有意水準に達している。また85ホン(A)を除いて他は全てほぼ暗騒音の場合と同じ勾配になっており、1時間の操作時間経過に対してほぼ一定の操作未了回数になっている。

5-4 誤操作回数

3人の平均誤操作回数を騒音レベルごとにプロットしたものが図-22である。この図からは、騒音レベルの増加に対して誤操作回数が増えるといった傾向は尙がわれなく、むしろ操作慣れや、実験時のオペレータの体調が問題となってくる様に思われる。

表-8 時間経過と操作未了回数の回帰値一覧

項 目 騒音 レベル (ホン(A))	相関係数 r	回帰直線式 $y = a_1 x + a_0$
暗 騒 音	0.987	$y = 0.562 x - 4.551$
70	0.987	$y = 0.391 x - 2.233$
80	0.989	$y = 0.443 x - 2.375$
85	0.998	$y = 0.665 x - 2.480$
90	0.995	$y = 0.459 x - 2.245$
95	0.996	$y = 0.490 x - 2.083$
100	0.994	$y = 0.512 x - 2.105$

y : 操作未了回数 (回) x : 時間経過 (分)

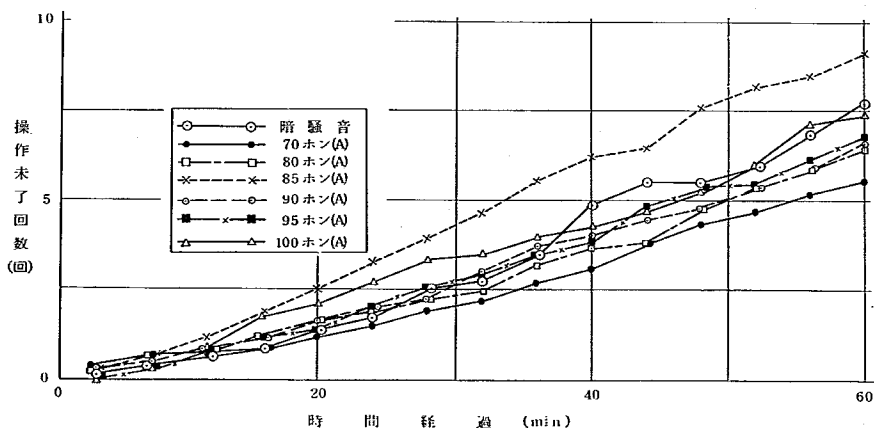


図-21 時間経過と操作未了回数

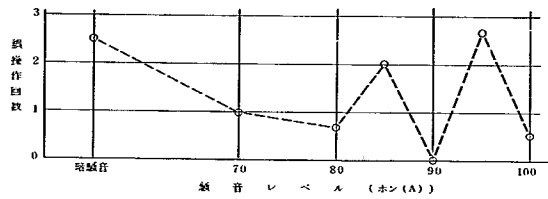


図-22 騒音レベルと誤操作回数

表-9 時間経過と誤操作回数の関係

注：累計回数

時間経過 騒音 レベル (ホン(A)) min	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~28	28~32	32~36	36~40	40~44	44~48	48~52	52~56	56~60
暗騒音	0	0	0	0	0	0	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	2.50
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0.99
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.66	0.66
85	0	0	0.66	0.66	0.66	0.99	0.99	1.32	1.32	1.32	1.32	1.65	1.65	1.65	1.98
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.66	0.99	1.32	1.32	2.32	2.32	2.32	2.65	2.65
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50	0.50

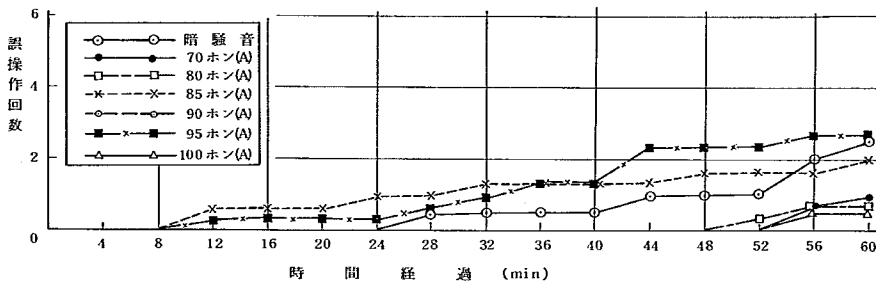


図-23 時間経過と誤操作回数

表-10 初めて操作ミスをおかす迄の時間

騒音レベル(ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
経過時間 (min)	28	56	52	12	—	12	56

間は100 ホンの場合で実験開始後5 6分でオペレータが初めて操作ミスを起こしている。逆に最短のものでは8 5ホン及び9 5ホンであって、これは1 2分経過した時点で操作ミスを起こしていることになる。この様に初めて誤操作を犯すまでの経過時間は騒音レベルが高い程、時期が早まるというものでもない。表-1 0に各騒音レベルごとに初めて操作ミスを行った時点の経過時間の関係を示す。

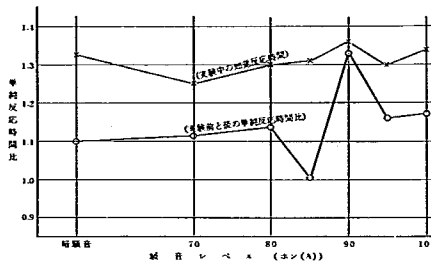


図-2 4 騒音レベルと反応時間

5-5 単純反応時間

騒音露聴によって低下した反応おくれ時間の割合を調べる為に実験前の単純反応時間と実験後の単純反応時間の比を各騒音レベルごとにプロットしたものが図-2 4である。8 5ホンでは反応おくれは殆んどなく、逆に9 0ホンでは最も反応おくれが大きく表われる結果となり、データのバラツキが認められるが、全体的には右 upper 傾向が伺われる。また実験後の単純反応時間の実験前に対する割合(単純反応時間比)は、全て1 以上であり実験中の知覚反応時間を上まわるものは無い。更に実験中の知覚反応時間と比較してバラツキも大きくなっているが、これは実験後のオペレータの神経集中力が極度にムラがあるためと考えられる。

6. 操作性と客観的評価

表-11は操作性の客観的評価値を示したもので、各々のインデックスについて、7条件の騒音レベル環境下で、3人のオペレータの平均的な値に順位づけを行ない、その順位によって客観的評価をしたものである。即ち順位づけ1位の場合を1点、2位の場合は2点（以下同様）としたものであるから、表-11、図-25においては評価値の低い方が評価が良いことを意味する。合計点によれば、騒音レベルの上昇につれて客観的評価も悪くなる傾向が表われている。ただ個々のオペレータについて解析した場合は、バラツキが多い。

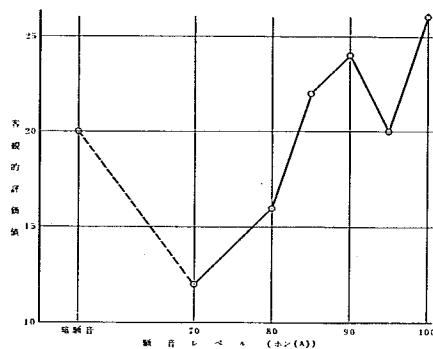


図-25 操作性の客観的評価値

表-11 操作性の客観評価値

項目 (ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
停止誤差量	1点	3点	4点	5点	6点	2点	7点
知覚反応時間	5	1	3	4	7	2	6
操作未了回数	6	1	2	7	3	4	5
誤操作回数	6	4	3	5	1	7	2
単純反応時間比※	2	3	4	1	7	5	6
合計	20	12	16	22	24	20	26

※ 騒音露聴後の単純反応時間／騒音露聴前の単純反応時間（露聴時間60分）

7. 操作性と主観的評価

操作性の主観的な評価方法として実験後3人のオペレータに「操作の難易度」「自覚症状」「疲労部分」についてアンケート方式により評価させた結果、表-12に示す結果が得られた。評価値として「操作の難易度」については5点法による評価で難易度1の場合を1点、2の場合を2点（以下同様）とし、「自覚症状」や「疲労部分」については、オペレータが訴えた最大のものを2点、二番目として訴えたものを1点として評価したものである。従ってこの表では評価値が高くなる程、操作性の主観的評価が悪くなることを表わしている。「操作の難易度」は騒音レベルの増加

表-12 操作性の主観評価（目の疲労を含んだ場合）

騒音レベル (ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
項 目							
操 作 の 難 易	1.5 点	3.0 点	2.0 点	3.7 点	3.0 点	2.9 点	3.5 点
疲 労 部 分	2.5	1.0	2.0	2.3	3.0	2.7	2.5
自 覚 症 状	1.5	1.0	1.7	2.7	3.0	3.0	2.5
合 計	5.5	5.0	5.7	8.7	9.0	8.6	8.5

表-13 騒音露聴後の自覚症状

 自覚症状として最大なもの
 自覚症状として2番目のもの

騒音レベル (ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
オペレータ							
症 状							
頭がぼんやりする	A						
	B						
	C						
耳なりがする	A						
	B						
	C						
頭が重い	A						
	B						
	C						
全身がだるい	A						
	B						
	C						
いらいらする	A						
	B						
	C						

表-14 騒音露聴後の疲労部分

 最大に感じる疲労部分
 2番目に感じる疲労部分

騒音レベル (ホン(A)) オーバータ		暗騒音	70	80	85	90	95	100
頭	A							
	B							
	C							
眼	A							
	B							
	C							
腕	A							
	B							
	C							
背 中	A							
	B							
	C							

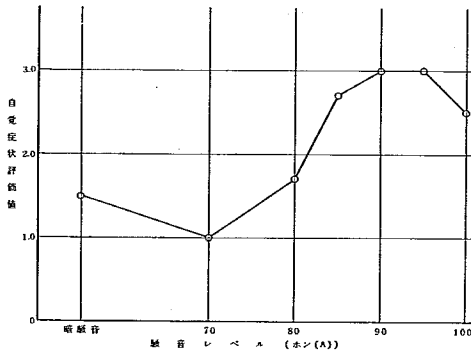


図-26 騒音レベルと自覚症状評価値

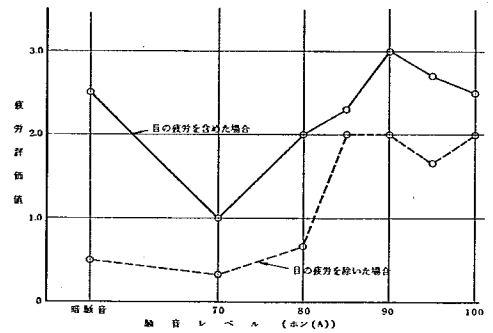


図-27 騒音レベルと疲労評価値

表-15 操作性の主観評価(目の疲労を除いた場合)

騒音レベル (ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
項目							
操作の難易	1.5点	3.0点	2.0点	3.7点	3.0点	2.9点	3.5点
疲労部分	0.5	0.3	0.7	2.0	2.0	1.7	2.0
自覚症状	1.5	1.0	1.7	2.7	3.0	3.0	2.5
合計	3.5	4.3	4.4	8.4	8.0	7.6	8.0

に対して評価値も悪くなっている。表-13及び表-14は、それぞれの騒音レベル環境の下で1時間操作した後オペレータが「自覚症状」や「疲労部分」として訴えている個所を記したもので、「自覚症状」としては頭がぼんやりするとか、耳なりの症状を訴えている場合が殆んどである。特に耳なりの症状は85ホン以上になると現われてくる様である。また「疲労部分」としては、頭や眼の場合が圧倒的に多い。眼の疲労は騒音によって直接引き起こされるとは考え難く、むしろオペレータが追従パネルに点滅してくるランプを1時間もの間にわたり注視するために起るものと思われる。このことは騒音レベルの低い個所から高い個所へと全般的にわたって訴えていることから推測される。ここでこの疲労部分の肉眼に関する部分を取り除くと、表-15の評価値の様に騒音レベルの増加により評価値が上昇してくる傾向にあり、特に85ホンを境にして急激に上昇している。従って騒音に直接関係のある疲労を無くすにはこの附近の騒音が問題となるようである。この様に主観によって評価をした場合の合計値は85ホン以上で極端に高い値になっていることが判った。しかしこれは操作性への影響というよりはオペレータが労働環境の不良を訴えているものであろうと考えられる。

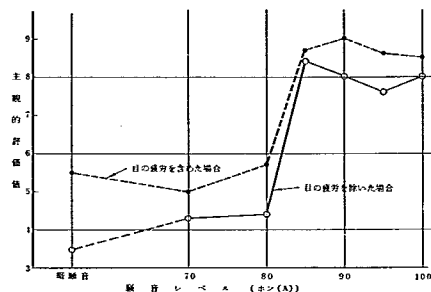


図-28 操作性の主観評価

表-16 操作性の総合評価

(目の疲労を入れた場合)

騒音レベル (ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
項目							
客観評価	20	12	16	22	24	20	26
主観評価	5.5	5.0	5.7	8.7	9.0	8.6	8.5
合計	25.5	17.0	21.7	30.7	33.0	28.6	34.5

表-17 操作性の総合評価

(目の疲労を除いた場合)

騒音レベル (ホン(A))	暗騒音	70	80	85	90	95	100
項目							
客観評価	20	12	16	22	24	20	26
主観評価	3.5	4.3	4.4	8.4	8.0	7.6	8.0
合計	23.5	16.3	20.4	30.4	32.0	27.6	34.0

8. 操作性の総合評価

以上の客観的評価、主観的評価を総合して考えると、表-16及び表-17のとおりとなり、表-17は主観評価の中で目の疲労による評価を除いた場合の総合評価である。いずれにしてもこれらの結果は図-29に示す様に騒音レベル80ホンを越えると極端に評価値が悪くなっている。また暗騒音(40ホン)の場合は比較的悪い評価となっているが、これは操作に伴ってほぼ同一のサイクルタイムで、しかも間欠的に発せられる指標移動機構部の騒音が操作性に対しかなり影響しているものと思われる。騒音レベル85~100ホンに至っては概して評価値の横ばいないしはゆるやかな上昇の傾向が見られる。この付近の騒音レベルにあつては、オペレータの騒音に対する耳慣れの影響があらわれているものと考えられる。

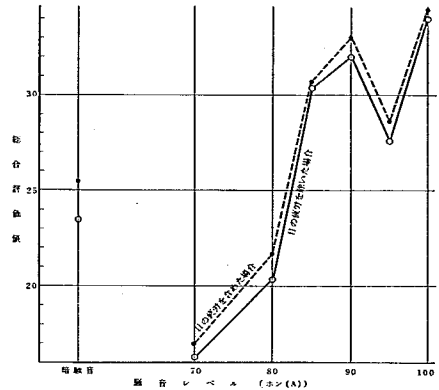


図-29 操作性の総合評価

9. ま と め

当実験では被験者3名についてまとめたもので、オペレータ個々に対しては騒音の心理的効果がさまざまで、一概には結論づけ難いが一部のデータでは騒音レベルの上昇が結果に悪い影響を与えている所が多く見られる。これら操作性の各インデックスに対するまとめは表-18のとおりで総合的に判断した結果、80ホン(A)近辺から極端に操作性が悪化してくることが判明した。

表-18 操作性のまとめ

	騒音レベルの増加に対する影響	騒音露聴時間に対する影響
停止誤差量	やや騒音レベルの影響が表われる	バラツキが大きく明確な変動は見られない
知覚反応時間	騒音レベルの増加につれて知覚反応時間はやや増加の傾向にある	1時間の操作によって作業前後の知覚反応時間に差が生じる
操作未了回数	バラツキが大きく一概に騒音が操作性に影響があるか否かの判定は困難	各騒音レベルともほぼ一定の操作未了回数となり時間経過による影響は見られない
誤操作回数	バラツキが大きく判定困難	30~40分以降から概して騒音レベル増加の影響が伺える
単純反応時間比	バラツキは認められるがやや騒音レベルの影響が伺われる	
自覚症状	騒音レベルの影響が大きい 特に耳なり症状は85ホン以上になると顕著となる	
疲労部分 (目の疲労を入れた時)	騒音レベルのちがいに疲れの度合も異なっている	
疲労部分 (目の疲労を除いた場合)	騒音レベルのちがいによる影響が大きく、80ホン以上で急激に変化が表われた	
客観評価	騒音レベル増加に伴ない客観的評価も悪くなる	
主観評価	80ホンを越えると極端に悪くなり85~100ホンにあっては主観的評価の横ばいが見られる	
総合評価	騒音レベル増加に伴ない80ホン近辺から極端に評価が悪くなる	

10. あとがき

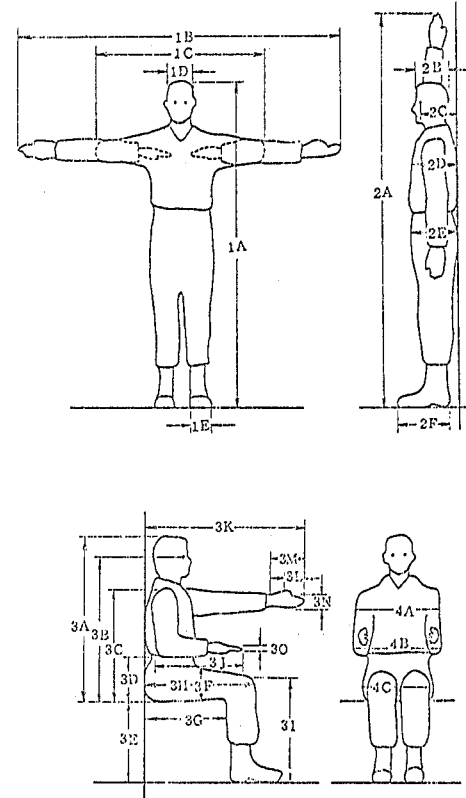
建設機械のオペレーションは本来知的な作業がかなり含まれているはずであり、騒音の大小の影響もその面へ強く現われるのかも知れない。当実験方法においては、オペレータは反射神経のみで事が足り、それがこういう結果になったのであろう。今後は更にそうした面も配慮した実験方法の確立が必要と思われる。また労働衛生の面から、騒音露聴に対する聴力低下についても考慮すべき点があり、仮性的な難聴などについての実験も必要と思われる。なお当実験を行なうに当り御指導をいただいた杉山篤氏(社団法人日本建設機械化協会建設機械化研究所)およびオペレータとして協力して戴いた原誠技官に謝意を表するものである。

11. 参 考 文 献

- (1) 杉山, 中野, 土木研究所資料第697号「ブルドーザの操作性に関する研究」(第一報)
- (2) 杉山, 中野, 土木研究所資料第736号「ブルドーザの操作性に関する研究」(第二報)
- (3) 近藤武他訳「人間工学データブック」コロナ社
- (4) 建設省建設機械課「建設機械の改善指導調査」昭和44年6月
- (5) 日本建設機械化協会, 建設機械化研究所「性能試験報告書」
- (6) 日本建設機械化研究所「建設機械の運転席における振動および騒音の現況測定結果—その1」
昭和44年11月
- (7) 大島正光「疲労の研究」同文書院 昭和39年
- (8) C.T.MORGAN, J.S.COOK, III 著 近藤武他訳「人間工学データブック」コロナ社
A.CHAPANIS, M.W.LUND
- (9) W. ウッドソン原著, 青木和彦, 野本 明訳「人間工学」コロナ社 昭和34年
- (10) 1971 SAE HANDBOOK Society of Automotive Engineers, Inc.
- (11) 桐原他「疲労判定のための機能検査法」同文書院
- (12) 労働科学研究所「作業環境等とトラクター運転員作業調査とその解析についての報告書」
昭和43年3月
- (13) 吉田正昭「応用実験心理学」筑摩書房
- (14) 人間工学ハンドブック編集委員会「人間工学ハンドブック」金原出版
- (15) 鉄道労働科学研究所, 人間工学研究室「運転台の人間工学ハンドブック—形態編—」
- (16) 鉄道労働科学研究所, 労働生理研究室「労働生理研究室の一時間」
- (17) Joseph Staloff M.D. "How Much Is Noise Too Much," Jefferson Medical
College, Philadelphia, Pennsylvania.

附表-1 人体計測表

オペレータ 測定位置	A	B	C	A・B・C の平均	国鉄職員 の平均	アメリカ人 の平均
体重 (kg)	57.5	57.0	64.0	59.5	56.6	77.2
1 A (cm)	174.4	162.5	169.8	168.9	162.6	177.5
1 B	179.6	163.3	169.5	170.8	—	179.5
1 C	92.5	79.2	87.9	86.5	—	92.5
1 D	16.2	16.5	16.0	16.2	—	15.0
1 E	9.1	9.3	9.2	9.2	9.8	10.7
2 A	222.1	201.6	210.9	211.5	—	212.5
2 B	19.1	19.0	19.4	19.2	—	19.5
2 C	17.7	18.0	18.2	17.9	—	19.5
2 D	20.9	21.0	23.0	21.6	21.5	23.5
2 E	21.4	21.7	23.4	22.2	21.8	26.5
2 F	24.3	24.8	25.4	24.8	24.3	30.0
3 A	92.6	88.6	92.0	91.1	88.7	90.5
3 B	81.3	77.1	79.3	79.2	76.9	80.5
3 C	61.9	57.0	60.0	59.6	—	62.5
3 D	17.1	17.5	20.6	18.4	—	23.0
3 E	46.3	40.3	45.6	44.1	37.5	45.5
3 F	13.3	13.4	13.6	13.4	—	14.5
3 G	46.1	45.5	46.2	45.9	41.9	48.0
3 H	56.9	53.3	56.0	55.4	54.3	59.5
3 I	52.2	48.1	51.4	50.6	47.0	57.5
3 J	46.3	43.1	45.5	44.9	43.8	47.5
3 K	87.6	78.3	81.8	82.6	79.5	86.5
3 L	12.4	13.1	14.7	13.4	—	13.0
3 M	18.4	17.5	18.6	18.2	17.6	19.5
3 N	9.5	10.0	9.7	9.7	—	9.0
3 O	4.1	3.9	4.5	4.2	—	3.0
4 A	45.2	44.0	40.5	43.2	38.0	46.5
4 B	42.0	46.3	45.9	44.7	—	45.0
4 C	35.0	35.4	35.5	35.3	30.8	37.5



ブルドーザの操作性に関する研究(第3報)

土研資料第882号

—騒音が建設機械の操作性へ及ぼす影響—

昭48年11月(1973)

田中康之・岡崎治義・池田 勇

キーワード 建設機械, ブルドーザ, 騒音, 操作性

要旨

ブルドーザの操作性の研究の一環として、トラッキング装置、騒音発生装置によって騒音が操作性に及ぼす影響を見いだす実験を行った。この実験の結果、下記のこと が 解 明 さ れ た。

1. 操作性の客観評価は騒音レベルの上昇につれて悪くなる。
2. 操作性の主観評価は80ホンを境に急激に悪くなる。
3. 操作性の総合評価は80ホンを越えると極端に悪くなる。
4. ほぼ同一のサイクルタイムでしかも間欠的に発せられる騒音は操作性に對しかなり影響している。

